

Eco-physiological studies on advance in cultivation techniques of the kelp *Undaria pinnatifida*

著者	高 旭
号	49
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	農博第1049号
URL	http://hdl.handle.net/10097/60120

	XU	GAO
氏 名（本 籍 地）	高	旭
学 位 の 種 類	博士（農学）	
学 位 記 番 号	農博第 1049 号	
学 位 授 与 年 月 日	平成 25 年 3 月 27 日	
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項	
研 究 科 ， 専 攻	東北大学大学院（博士課程）農学研究科資源生物科学専攻	
論 文 題 目	Eco-physiological studies on advance in cultivation techniques of the kelp <i>Undaria pinnatifida</i> (ワカメ養殖技術の改良に関する生理生態学的研究)	
博士論文審査委員	(主査) 教 授 吾 妻 行 雄 教 授 遠 藤 宜 成 教 授 國 分 牧 衛	

論文内容要旨

第1章 緒言

ワカメは、秋から春にかけて成長し、春から夏に成熟し枯死する大型1年生褐藻である。アジア諸国では重要な産業対象種として広く養殖されている。日本における主要な養殖海域は岩手県、宮城県及び徳島県であり、これらの県における生産量は日本の総生産の90%を占める。近年、日本では食用として需要が著しく増大している。消費量は収穫量を上回り、消費量の60%を中国、20%を韓国からの輸入に依存している。そこで、ワカメの養殖技術を改良して、自国の収穫量を増加させて安価な輸入のワカメに対抗する必要がある。

近年、高水温化によってワカメ養殖生産において種々の問題が生じている。種苗生産においては、採苗後に配偶体の成長が停滞し、室内の育成期間が長期化している。また、沖出し後、幼胞子体が枯死、脱落する芽落ち現象が起こっている。さらに、養殖後期における収穫量の不足と1月下旬以降に穴あき病の発症が常態化している。これらの問題は成長の不良、高い死亡率、そして漁獲量の低下をもたらしている。従って、室内の育成期間の停滞と芽落ち現象の生理生態学的機構を解明するとともに、穴あき病発症期を回避した早期の収穫および収穫を延長させて収穫量を増大させる養殖技術の改良を図る。

第2章 芽落ちの発生要因と対策

養殖開始直後のワカメ幼胞子体の枯死、脱落をもたらす高水温・貧栄養の影響を明らかにして損失を軽減する対策を確立するために、松島湾産と徳島県鳴門産のワカメ種苗（全長1-2 cmの幼胞子体）を採取し、傷修復のため1日間の培養を行い、水温15-27℃の4段階、富栄養条件(1/4 PESI 培地)と貧栄養条件(松島湾天然海水)で12日間通気培養した。培養後、生残率と相対成長率、および炭素・窒素含有量を調べた。その結果、貧栄養条件では富栄養条件より幼胞子体の生残率、相対成長率および窒素含有量が有意に低くなった（図1, 2, 3）。そして水温の上昇に伴って生残率と相対成長率が低下した。高水温と貧栄養条件では、鳴門産幼胞子体の生残率、相対成長率および窒素含有量が松島湾産の幼胞子体よりも有意に高い値を示した。

芽落ち現象を引き起こす重要な要因は幼胞子体にいたる時期に相当する夏から秋にかけての高水温・貧栄養であると考えられる。鳴門幼体の高水温耐性は松島湾幼体よりも高く、その高い窒素保持能力によって、高い生残率と成長率が保障されたと考えられる。高水温耐性を有する低緯度海域に由来する種苗を母藻として導入することによって、芽落ち問題が改善できる可能性があると考えられる。

第3章 高水温耐性を有する母藻の導入

前章において、高水温耐性が松島湾産と鳴門産ワカメの遺伝的な分化によるのか、また、導入した鳴門産ワカメは生理生態学的特徴を維持しているか否かを明らかにするために、

岩手県の越喜来湾、松島湾および鳴門沿岸で採集した天然のワカメ胞子体を母藻として松島湾の養殖ロープに移植し、自殖で3世代養殖した。その後、いずれも2-3 cmの幼胞子体を水温10-24℃の8段階、1/4 PESI 培地で培養した。培養後、生残率、相対成長率、光合成速度、呼吸速度ならびに窒素含有量を調べた。

ワカメ幼胞子体の成長至適水温は、鳴門産幼体が北部集団の幼体よりも2℃から4℃高く、3世代養殖しても各自の生理生態学的特徴が保持されることがわかった(図4)。18℃以上の高水温条件においては、鳴門産幼体の相対成長率、生残率、窒素含有量および光合成と呼吸速度は北部集団の幼体より著しく高かった(図4, 5, 6, 7)。鳴門産幼体は高い窒素蓄積能力によって高い光合成と呼吸速度がもたらされ、高い生残率と成長率が保障されたと考えられる。ワカメ幼胞子体の高水温耐性の地理的相違は、エコタイプへの分化によってもたらされていると考えられる。従って、高水温耐性を有する鳴門種苗を北部海域へ導入し、芽落ちによる損失を軽減できると考えられる。

第4章 促成栽培技術

穴あき病発症前の早期に収穫する促成栽培技術を開発するために、8月中旬からワカメの配偶体を成長と成熟の最適水温20℃、窒素を1 mg/Lに強化した海水で室内通気培養することによって促成種苗(実験区)を作出した。同時期に配偶体を栄養塩無添加海水で静置培養した対照区を設定した。養殖後に形態と乾重量の経日変化を調べた。12月と1月には茎葉移行部付近の裂葉からの葉片で光合成-温度曲線と $\text{NO}_3\text{-N}$ の吸収速度を調べた。

1月には、実験区では対照区よりも葉状部、中肋、胞子葉が有意に増大、増重した(図8)。1月の光合成速度と12月の栄養塩吸収速度は対照区よりも高進した(図9, 10)。これらの結果より、通常の収穫期よりも1-2カ月早く成長するため、早期の収穫と穴あき病による損失の回避が実現できると考えられる。

第5章 葉状部切除

ワカメの補償生長が可能な葉状部を切除する時期とその生理生態学的機構を明らかにするために、2009年1月-4月の4回、成長点にあたる茎葉移行部の上部約30 cmの部位で葉状部を切除した4つの実験区を設定した。各実験区と切除しなかった対照区の葉長と葉状部および胞子葉の乾重量の変化を調べた。茎葉移行部付近の裂葉からの葉片で光合成、栄養塩吸収速度、炭素・窒素含有量を測定した。また、胞子葉の炭素・窒素含有量の経日変化と切除前後に形成した胞子葉の炭素・窒素含有量を調べた。

対照区のワカメは、2月下旬に成長を停止し、その後、成熟が進行した。1月と2月に葉状部を切除したワカメは、対照区で成長を停止した3月においても成長した。そして茎葉移行部で対照区よりも光合成速度、栄養塩吸収速度および炭素・窒素含有量が有意に高い値を示した(図11, 12, 13)。これに対して、成熟は対照区と比較して遅滞した。したがっ

て、1月と2月に葉状部を切除したワカメは、多くの炭素、窒素を蓄積し、葉状部と続いて胞子葉に転流して成長と成熟を補償していることが明らかになった。また、3月と4月に葉状部を切除したワカメでは、補償成長が認められなかった。

第6章 総合考察

本研究により、高水温、貧栄養は芽落ちを引き起こす重要な環境要因であると考えられる。そこで、高水温耐性を有する種苗を母藻として導入することによって、養殖開始時期の早期化が実現し、芽落ちによる損失を軽減できると結論される。また、促成栽培により、ワカメ配偶体から胞子体への移行と成長が促進され、通常の収穫期より1-2カ月早い収穫が可能となる。穴あき病の発症期前に収穫できることから、高収入が実現できるといえる。一方、ワカメの葉状部を養殖早期の1月と2月に切除による補償成長と蓄積した物質の転流による葉状部の2回収穫と胞子葉の収穫期間の延長が可能であると考えられる。

本研究の結果より、高水温耐性を有する母藻を用いて採苗した配偶体を促成栽培し、1月と2月に葉状部を切除するワカメの養殖技術を提案した。この改良した技術は、自国の養殖ワカメの増産をもたらし、安価な輸入ワカメに対抗できる産業的に重要な意義を有すると考えられる。

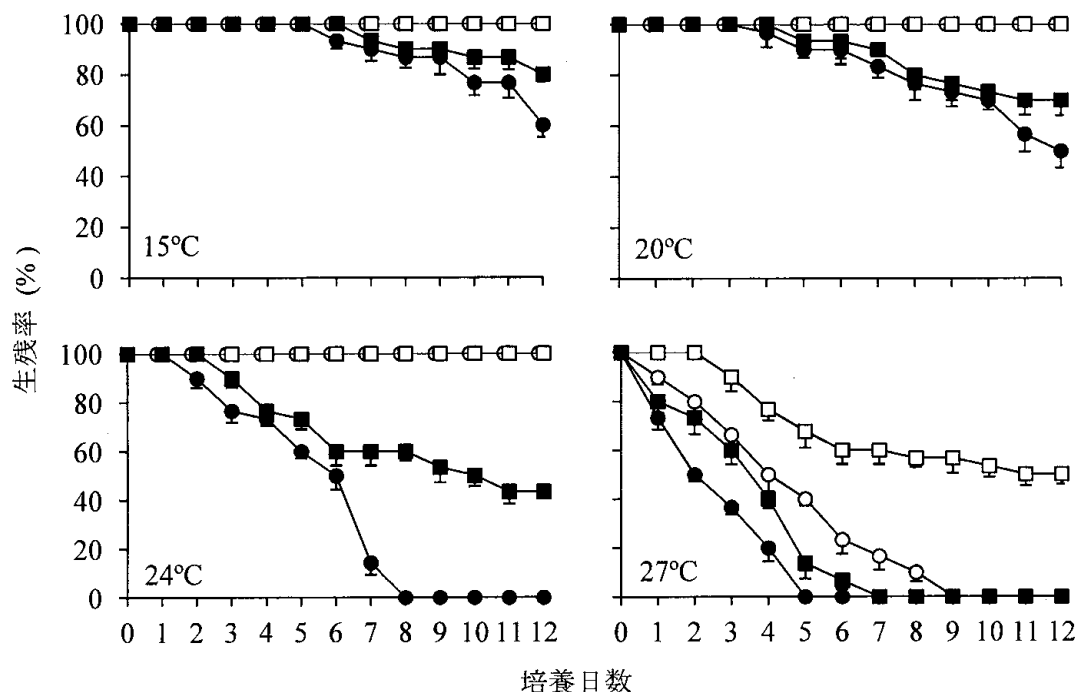


図 1. 富栄養（白）と貧栄養（黒）における松島湾幼体（丸）と鳴門幼体（四角）の水温別の生残率。

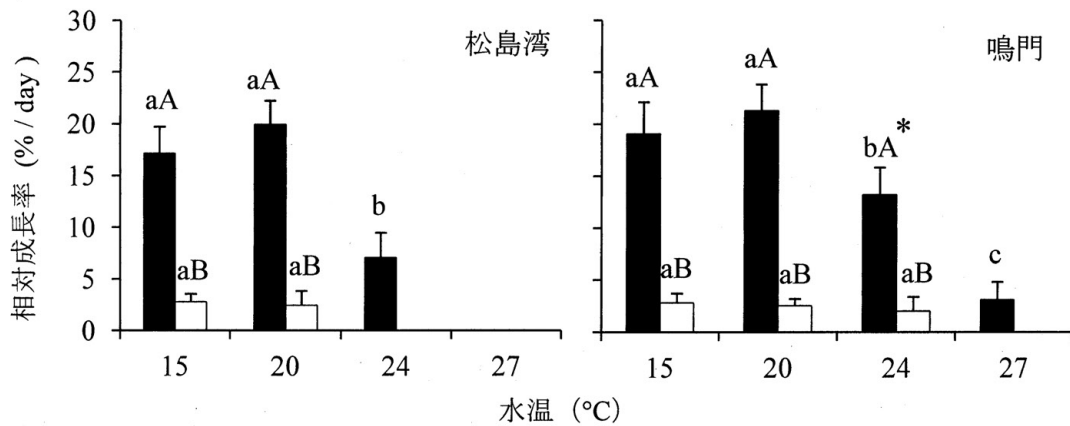


図 2. 富栄養（黒）と貧栄養（白）における松島湾幼体と鳴門幼体の水温別の相対成長率.
小文字：水温間の有意差；大文字：栄養塩条件間の有意差；*：産地間の有意差

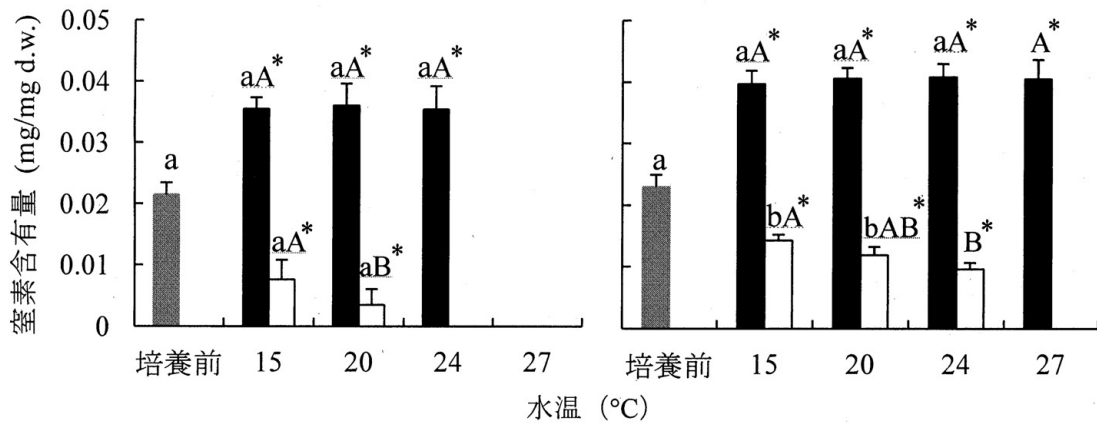


図 3. 培養前（灰）と培養後の富栄養（黒）と貧栄養（白）における松島湾幼体と鳴門幼体の水温別の窒素含有量. 小文字：産地間の有意差；大文字：水温間の有意差；*：培養前後の有意差

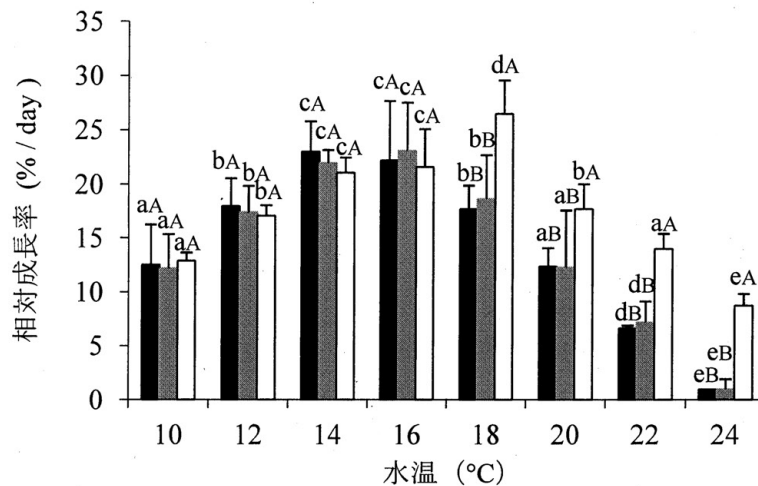


図 4. 越喜来湾（黒）、松島湾幼体（灰）ならびに鳴門幼体（白）の水温別の相対成長率.
小文字：水温間の有意差；大文字：産地間の有意差

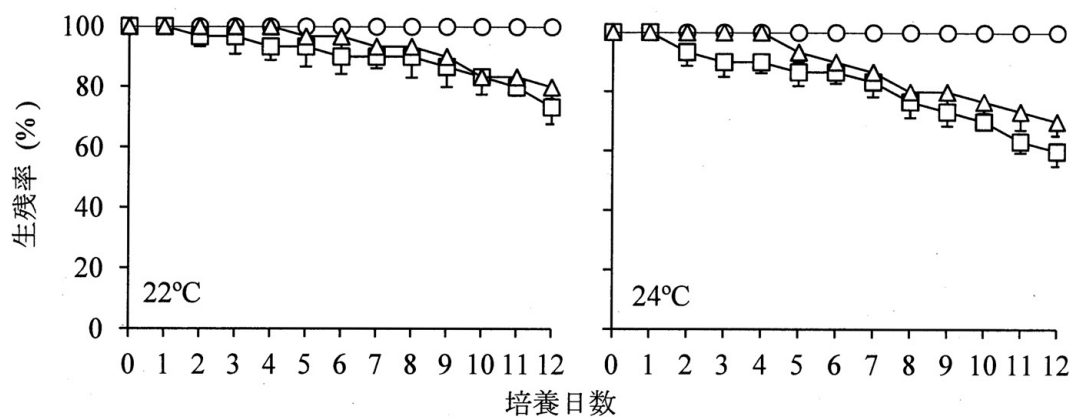


図 5. 22℃と 24℃における越喜来湾幼体 (四角)、松島湾幼体 (三角) ならびに鳴門幼体 (丸) の生残率.

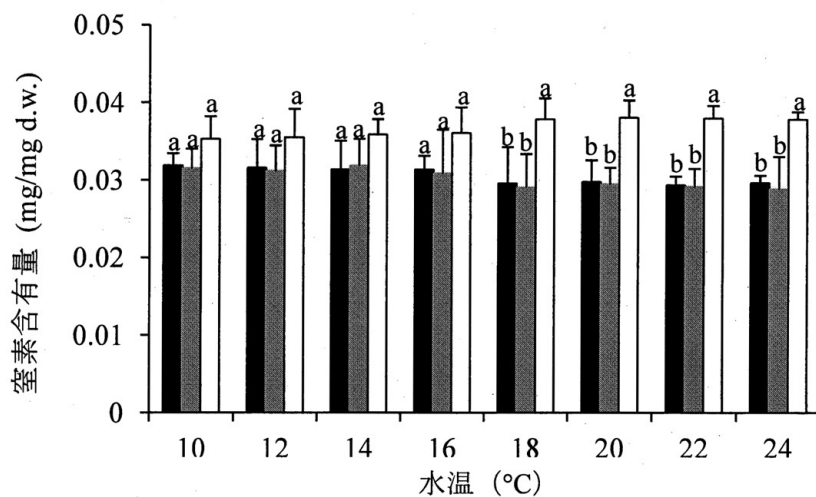


図 6. 越喜来湾幼体 (黒)、松島湾幼体 (灰) ならびに鳴門幼体 (白) の水温別の窒素含有量. 小文字: 産地間の有意差

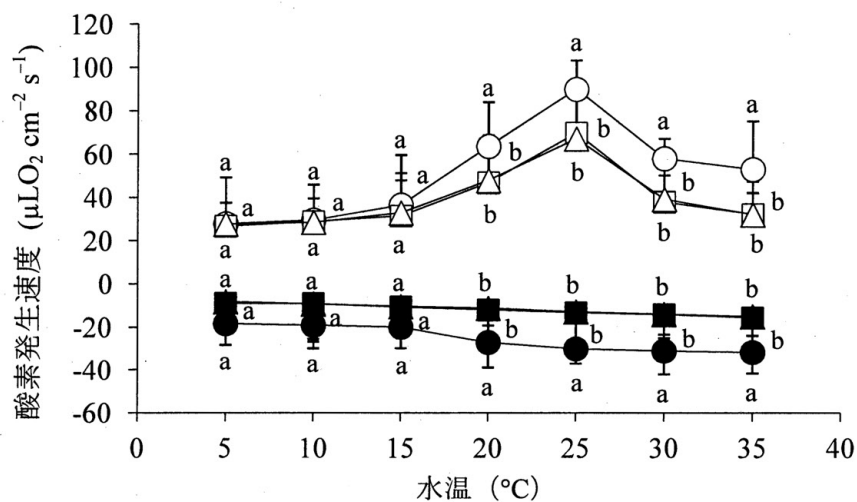


図 7. 越喜来湾 (三角)、松島湾幼体 (四角) ならびに鳴門幼体 (丸) の水温別の光合成速度 (白) と呼吸速度 (黒). 小文字: 産地間の有意差

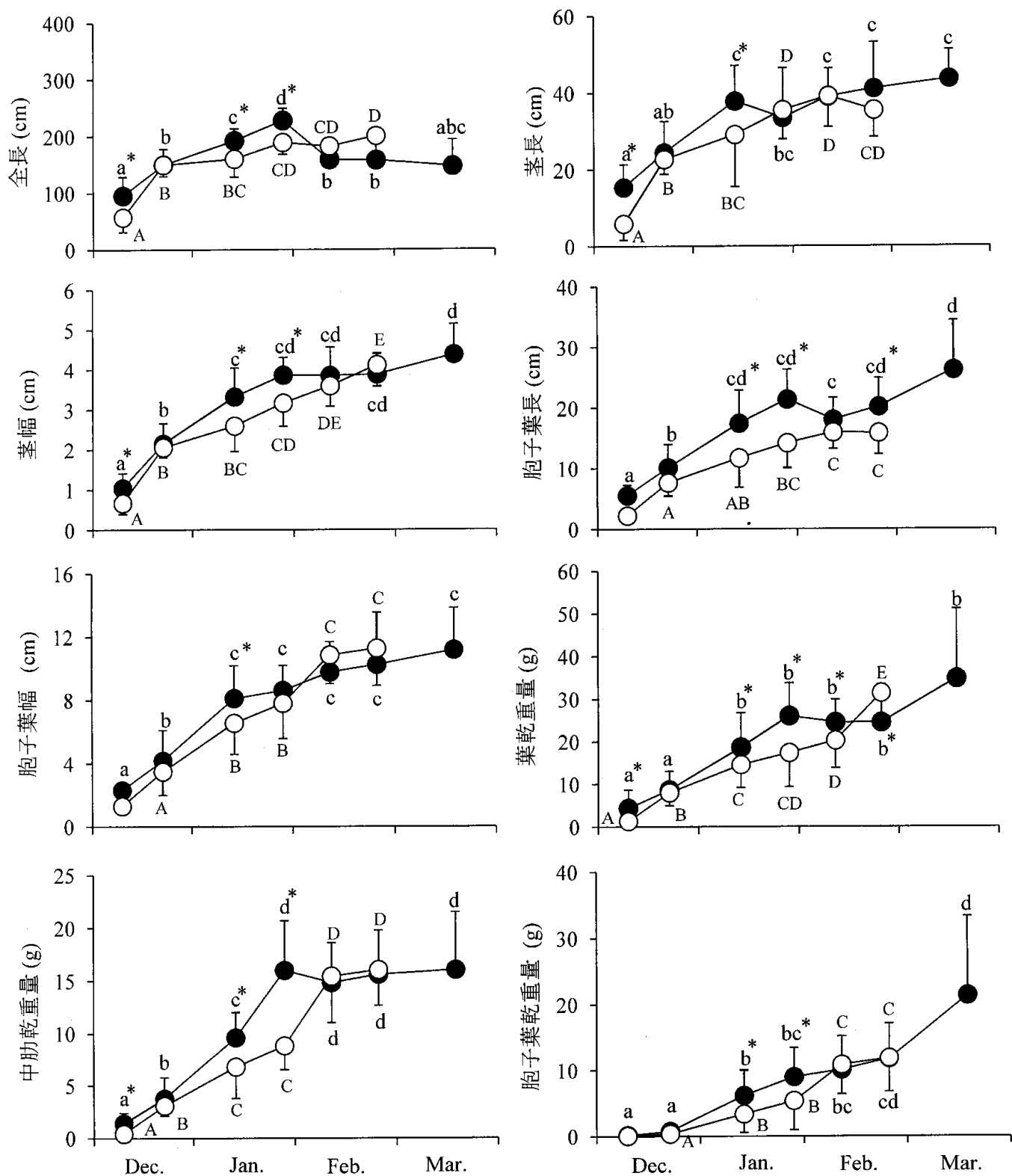


図 8. 実験区（黒）と対照区（白）のワカメの形態の経日変化. 小文字：実験区における季節間の有意差；大文字：対照区における季節間の有意差；*：実験区と対照区間の有意差

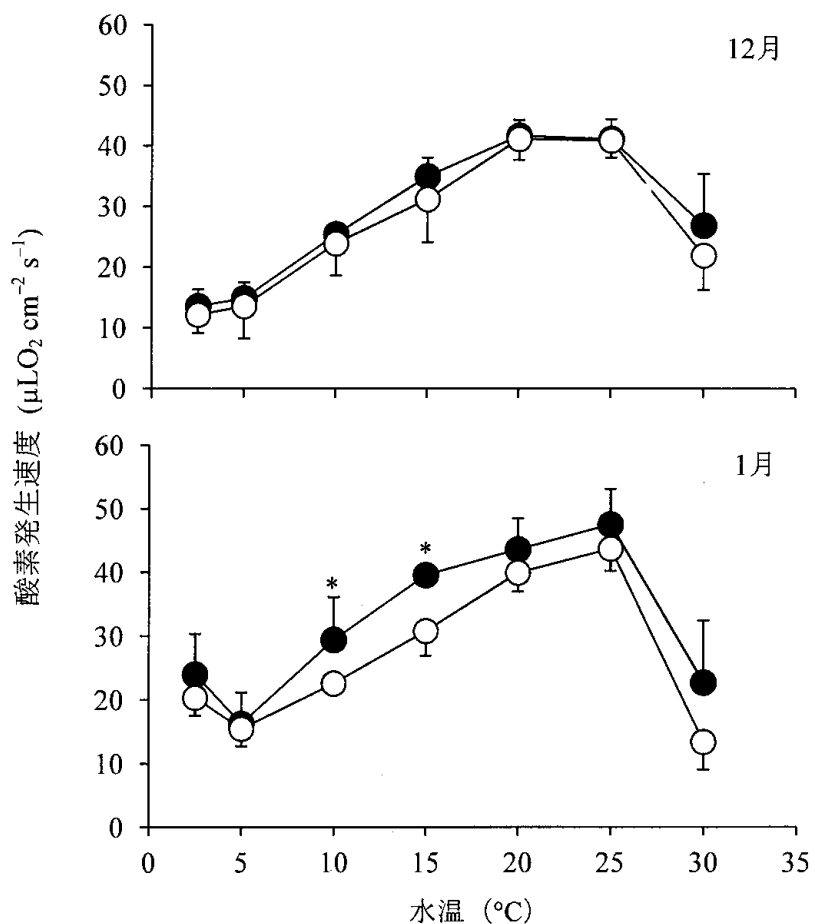


図 9. 実験区 (黒) と対照区 (白) のワカメの水温と光合成速度. * : 実験区と対照区間の有意差

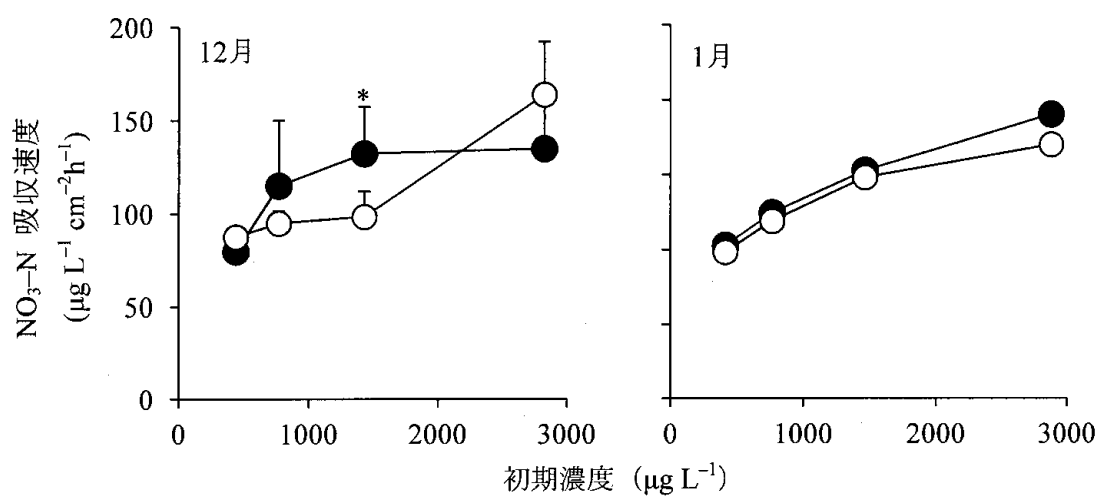


図 10. 実験区 (黒) と対照区 (白) のワカメの栄養塩濃度と硝酸態窒素吸収速度. * : 実験区と対照区間の有意差

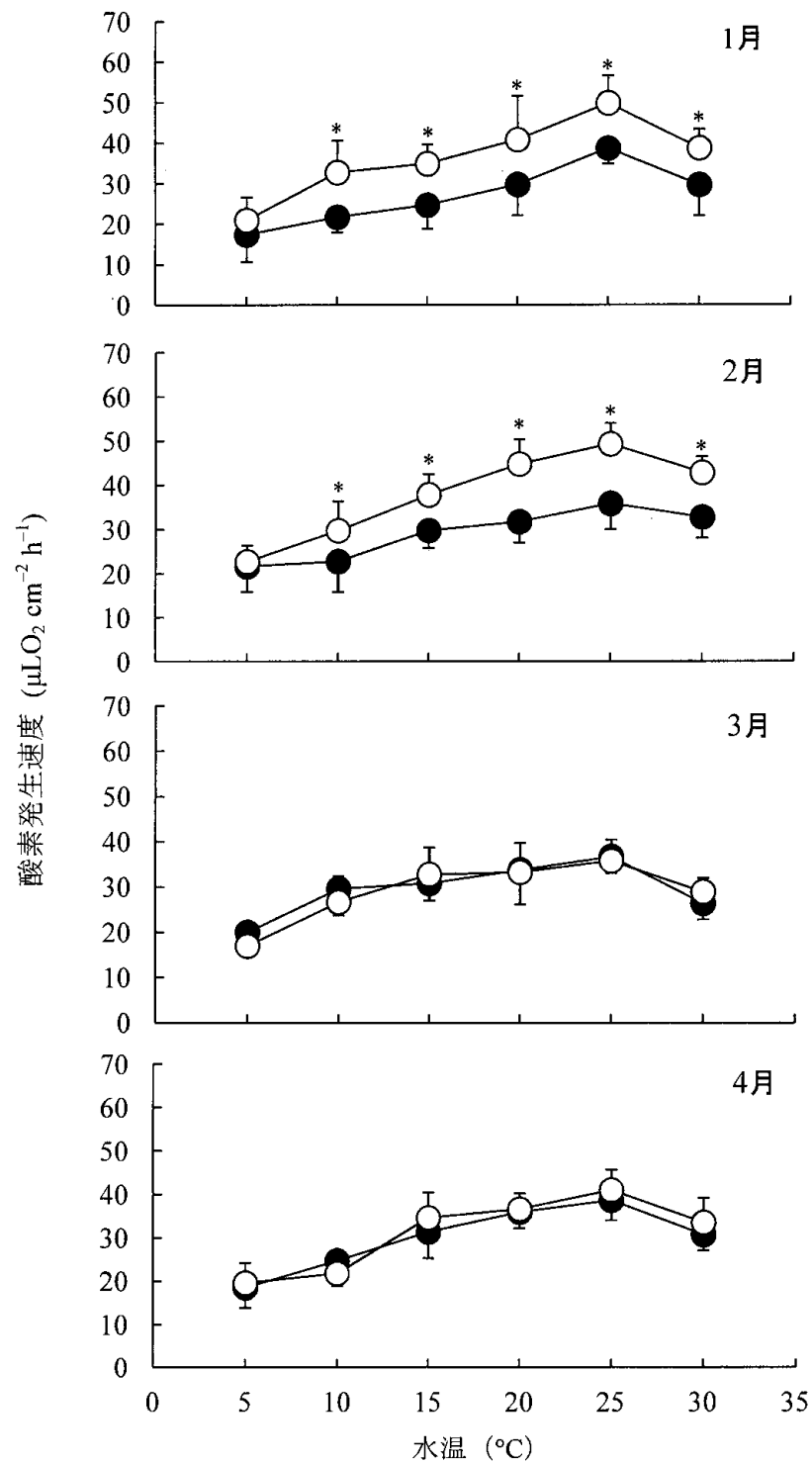


図 11. 実験区（白）と対照区（黒）のワカメ葉状部の水温と光合成速度. *：実験区と対照区間の有意差

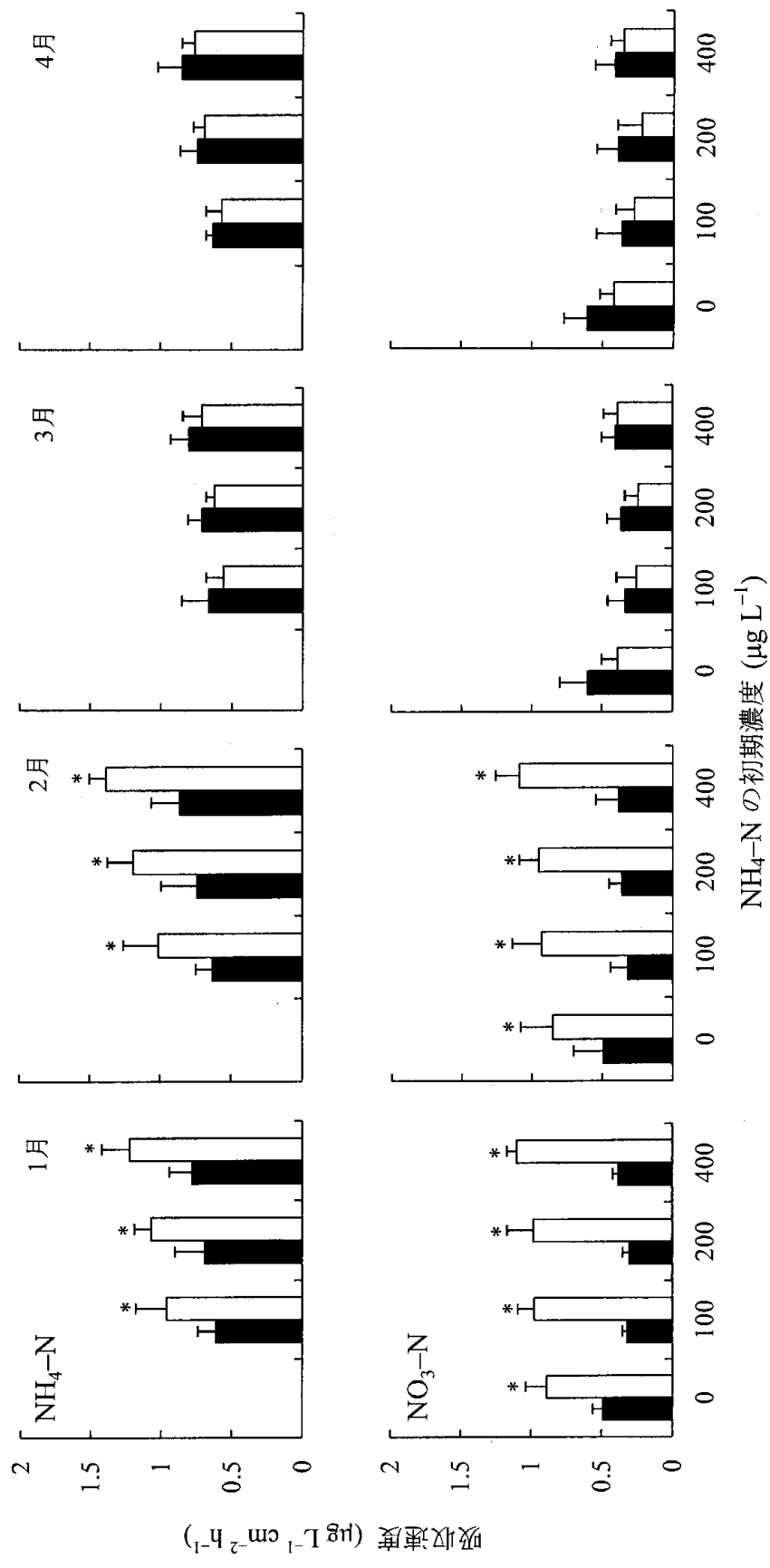


図 12. 実験区 (白) と対照区 (黒) のワカメ葉状部の $\text{NH}_4\text{-N}$ 初期濃度と $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NO}_3\text{-N}$ の吸収速度. * : 実験区と対照区間の有意差

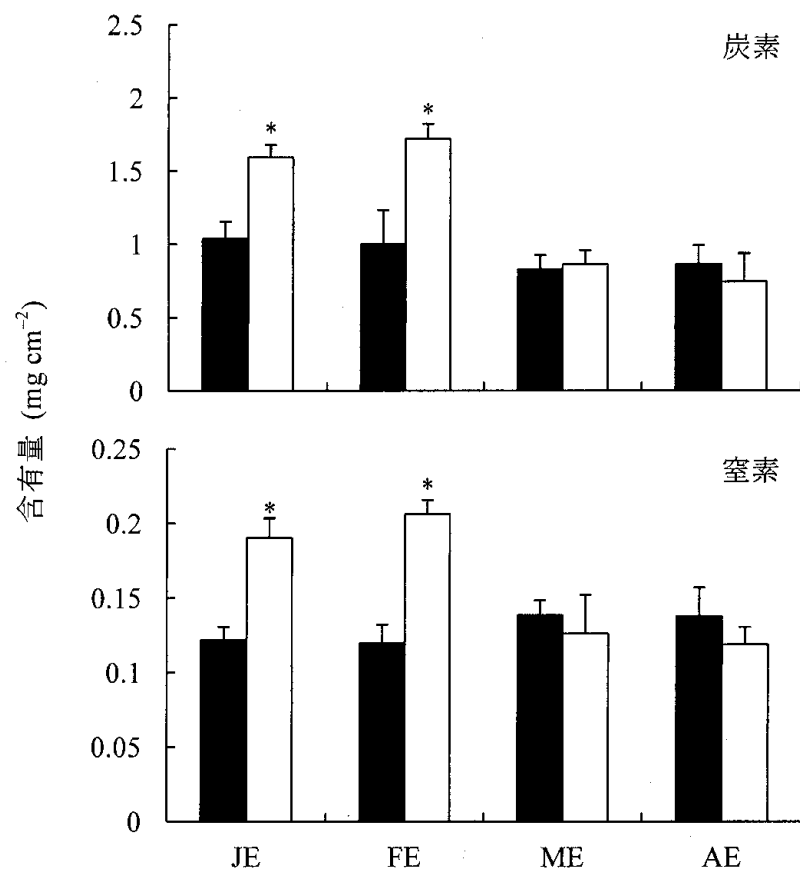


図 13. 実験区 (JE: 1 月; FE: 2 月; ME: 3 月; AE: 4 月) (白) と対照区 (黒) のワカメ葉状部の炭素・窒素含有量. *: 実験区と対照区間の有意差

論文審査結果要旨

近年、宮城県沿岸において、養殖ワカメの幼胞子体の枯死脱落や養殖後期における収穫量の不足と細菌の感染による穴あき病の発症が常態化して生産量の低下がもたらされている。本研究では、芽落ち現象の生理生態学的機構とその対策を明らかにする。また、穴あき病の発症期を回避した早期の収穫および収穫期を延長させて収穫量を増大させる養殖技術の改良を図るための生理生態学的な根拠となる知見を得る。

宮城県松島湾産のワカメ幼胞子体を水温 15~27℃の 4 段階、富栄養と貧栄養条件での通気培養実験を行った結果、貧栄養条件では富栄養条件より生残率、相対成長率および窒素含有量が有意に低下した。また、水温の上昇に伴って生残率と相対成長率が低下したことから、芽落ち現象は幼胞子体にいたる夏から秋の高水温・貧栄養によって引き起こされることがわかった。松島湾において徳島県鳴門産、岩手県越喜来湾産ならびに松島湾産ワカメを自殖で 3 世代養殖して幼体を得た。鳴門産幼体の成長至適水温は北部集団よりも 2℃から 4℃高く、生理生態学的特性が保持されることがわかった。18℃以上の高水温条件においては、鳴門産幼体の相対成長率、生残率、窒素含有量ならびに光合成と呼吸速度は北部集団の幼体より著しく高かった。鳴門産幼体においては高い窒素蓄積能力によって高い光合成と呼吸速度がもたらされ、高い生残率と成長率が保障されると考えられた。幼胞子体の高水温耐性の地理的相違はエコタイプへの分化によってもたらされたことを示す。したがって、高水温耐性を有する鳴門産種苗を北部海域に導入することによって芽落ちによる損失を軽減できると考えられる。一方、8 月中旬からワカメの配偶体を成長と成熟の最適水温 20℃、窒素を 1mg/L に強化した海水で室内通気培養して作出した促成種苗は、光合成速度と栄養塩吸収速度が早期から高進して、通常の収穫期よりも 1-2 ヶ月早く成長した。したがって促成栽培によって早期の収穫と穴あき病による損失の回避が実現できることがわかった。また、ワカメの葉状部を養殖早期の 1 月と 2 月に茎葉移行部の上部 30cm の部位で切除することによって炭素と窒素が蓄積され、葉状部と続いて胞子葉に転流して成長と成熟を補償し、収穫期間を延長できることがわかった。

本研究の結果より、高水温耐性を有する母藻を用いて採苗した配偶体を促成栽培し、1 月と 2 月に葉状部を切除する養殖技術を提案した。改良した技術は、自国の養殖ワカメの増産をもたらし、安価な輸入ワカメに対抗できる産業的な意義を有すると判断される。本研究はその科学的根拠を明らかにしたことから学位の授与に値すると判断する。